

VŠB - technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra obrábění, montáže a strojírenské metrologie



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ostrava 2015

Hodnocení třísouřadnicových měřících strojů

The Evalution of Three Coordinate Measuring Machines

Student: Luboš Bartoš

Vedoucí práce: doc. Ing. Vrba Vladimír, CSc.

Oponent práce: Ing. David Kolařík

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra obrábění a montáže

Zadání bakalářské práce

Student: **Luboš Bartoš**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Hodnocení třísouřadnicových měřicích strojů
The Evaluation of Three Coordinate Measuring Machines

Zásady pro vypracování:

1. Obecná charakteristika daného problému.
2. Problematika měření složitých součástí.
3. Způsoby hodnocení SMS.
4. Návrh metodiky pro konkrétní přístroj.
5. Diskuze experimentů.

Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] TICHÁ, Šárka. *Strojírenská metrologie – část 2. Základy řízení jakosti*. Ostrava : VŠB-TU Ostrava, 2006. 86 s. ISBN 80-248-1209-6.
- [2] ČSN EN ISO 9001:2009 (010321) *Systémy managementu kvality – Požadavky*. Praha : Úřad pro technickou normalizace, metrologii a zkušebnictví, 2009. 56 s.
- [3] Zákon č. 505/1990 Sb. - o metrologii ve znění zákona č. 119/2000 Sb.
- [4] ČSN EN ISO 10012-1 *Požadavky na zabezpečení jakosti měřicího zařízení*. Praha : Český normalizační institut, 2003. 27 s.
- [5] ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [6] ČSN ISO 690-2 *Bibliografické citace - Část 2: Elektronické dokumenty nebo jejich části*. Praha : Český normalizační institut, 2000. 24 s.


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Vladimír Vrba, CSc.**

Datum zadání: 12.12.2014
Datum odevzdání: 18.05.2015





Ing. et Ing. Mgr. Jana Petrů, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z jiné strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4. autorského zákona.
- Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- Beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě18.05. 2015.....

..........
podpis studenta

Adresa trvalého bydliště autora práce:

Luboš Bartoš

Finská 14, Šumperk

787 01

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího ročníkové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 18.05. 2015

.....
podpis studenta

Zásady pro vypracování:

- 1, Obecná charakteristika daného problému.
- 2, Popis firmy Pramet tools , s.r.o. na co se výroba zaměřuje a k čemu se daná práce využívá.
- 3, Způsoby hodnocení SMS.
- 4, Problematika měření složitých součástí.
- 5, Návrh metodiky pro konkrétní přístroj.
- 6, Diskuse experimentů.

Seznam použité literatury:

ČSN ISO 690 (01 0197) Informace a dokumentace : Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů: Praha ÚNMZ, 2011 <http://www.citace.com/soubory/csniso690-interpretace.pdf>

TICHÁ, Š. Vybrané kapitoly ze strojírenské metrologie (Ostrava) 2007 Základní pojmy, Veličiny a jednotky <http://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/346/cs/studium/studijni-literatura/Mrkvica-Ticha-Vybrane-kapitoly-ze-strojirenske-metrologie.pdf>

SKALÍK, P. Prokazování shody výrobků (online). 2007 [citováno 20013-10-04]. Dostupný z <http://www.345.vsb.cz/KE%20vyuka/Skalik/Prokazov%C3%A1n%C3%AD%20shody%20v%C3%BDrobk%C5%AF.pdf>

PRAMET: O společnosti. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>

Werth Messtechnik GmbH: špičkové měřicí přístroje. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/werth-1/>

Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

CHRISTOPH, Ralf a Hans NEUMANN. Multisenzorová souřadnicová měřicí technika: Měření rozměrů, tvaru, polohy a drsnosti- opticky, dotykově a rentgenovou tomografií. 4. vyd. PRIMA Bilavčík s.r.o, 2008.

CHRISTOPH, Ralf a Hans NEUMANN. Rentgenová tomografie v průmyslové měřicí technice: Přesná, hospodárná a univerzální. PRIMA Bilavčík s.r.o, 2011.

WERTH messtechnik: Product Information. Giessen, 2012.

Základní normy a pojmy Technického měření: ETA Otázky 2011/2012. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: www.google.cz/#q=ETA_VYPRAC_2011

KLUSÁK, Lukáš. Statistické zpracování a analýza dat výrobních auditů. Ostrava, 2014. Bakalářská diplomová práce. VŠB-TUO.

Mitutoyo: Prospekty. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/files/prospekty/prc1312.pdf>

Carl Zeiss: Přesné měření na CMM Carl Zeiss. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://technologie.fs.cvut.cz/provide/mereni>

MĚŘENÍ SLOŽITÝCH TVAROVÝCH PLOCH OBROBKOVOU SONDOU A VYHODNOCENÍ PŘESNOSTI OBRÁBĚNÍ [online]. Plzeň, 2011[cit. 2015-01-18]. Dostupné

z:http://old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST%28SVOC%29/_2011/_sbornik/PapersPdf/Bc/Kozisek_Michal.pdf

Programové rozhraní Werth. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://www.merici-pristroje.cz/werth-software-0/>

ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bartoš L. *Hodnocení třísouřadnicových měřících strojů* Ostrava: VŠB- Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra obrábění, montáže a strojírenské technologie, 2015, 34s.

Vedoucí práce: doc. Ing. Vrba Vladimír, CSc. Oponent práce: Ing. David Kolařík

Bakalářská práce se zabývá hodnocením třísouřadnicového měřícího stroje, s jakou přesností a rychlostí umí součást měřit. Cílem práce je zjistit jak stroje fungují, s jakou spolehlivostí dokáží měřit a zjistit odchylky a přesnost. Vysvětlit a popsat kalibrační kouli. Práce navrhuje metodiku pro zvolený konkrétní stroj, vyhodnocuje dosažené výsledky a porovnává jednotlivé metody měření.

ANNOTATION OF BACHELOR THESIS

Bartoš L. *The Evaluation of Three Coordinate Measuring Machines*

Ostrava: VŠB- Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of machining, assembly and engineering technology, 2015, 34s.

Thesis head: doc. Ing. Vrba Vladimír, CSc. Work opponent: Ing. David Kolařík

Bachelor's thesis is about evaluation of three dimensional measuring machine, about how accurate and fast it can measure components. Goal of this thesis is to figure out how machines work, how reliable is their measurement and to find their variation and accuracy. Explain and describe calibration sphere. This thesis suggest procedure for this exact machine, evaluates final results and compares individual methods of measuring.

Obsah:

Zásady pro vypracování:.....	4
Seznam použité literatury:	5
Obsah:.....	8
Úvod:	9
1. Obecná charakteristika daného problému:.....	10
2. Firma Pramet tools s.r.o. :	11
2.1 Popis kvalit a kontrol ve výrobě:	12
2.2 Vyměnitelná břitová destička:.....	13
2.3 Souřadnicové měřicí přístroje:	14
2.4 Kalibrace souřadnicových měřících strojů:.....	15
2.5 Zajišťování kalibrace:	16
2.6 Multisenzorový souřadnicový přístroj WERTH:.....	16
3. Způsoby hodnocení SMS zařízení:	17
3.1 Přesnost hodnocení SMS souřadnicových měřících strojů:	18
3.2 Typy konstrukcí SMS:.....	19
3.3 Popis konstrukce SMS:	21
3.4 Kalibrace doteků:.....	22
3.5 Vybrané druhy kalibračních koulí:	23
4. Měření složitých součástí:	24
4.1 Měření složitých tvarových ploch:.....	24
5. Werth VideoCheck.....	25
5.1 Technická data.....	25
5.2 Dotekové měření	26
5.3 Nastavení kalibrace	29
5.4 Průběh operace	30
5.5 Kalibrační protokol	31
5.6 Optické měření (kamerou)	32
5.7 Kalibrační protokol	33
6. Diskuze experimentů.....	34
7. Závěr :	35

Úvod:

Strojírenství je technický obor, který je postaven na základech fyziky a nauky o materiálech. Zahrnuje návrhy, výrobu a údržbu strojů a zařízení. Je to jedna z nejstarších technických disciplín. Zabývá se poznatky z dynamiky, mechaniky a kinematiky.

Hlavní odvětví strojírenství se v současné době stává výroba techniky na zpracování dat, telekomunikační techniky, mikroelektroniky nebo optiky. Dominantní postavení má v tomto oboru automobilový průmysl, v kterém se nejčastěji uplatňuje stále více výrobních linek, strojních robotů i souřadnicových strojů.¹

Souřadnicové měřicí stroje jsou velmi významnou inovací v oblasti měření ve strojírenství. Konstrukce těchto strojů byla vynucena v automobilovém, leteckém průmyslu a také potřebou měření u NC strojů ve strojírenské výrobě. Princip je založen na stanovení základního bodu v prostoru. Polohy dalších bodů na měřené součásti zjistíme formou souřadnic ve všech třech osách X,Y,Z.

Toto nám umožňuje měření velmi složitých součástí což je výhoda oproti konvenčnímu měření.²

¹ WIKIPEDIA. *Strojírenství*. [online]. 31.3.2015 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Stroj%C3%ADrenstv%C3%AD>

² http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

1. Obecná charakteristika daného problému:.

Strojírenství v dnešní době zahrnuje několik odvětví.

Těžké strojírenství, se zabývá zajištěním vybavení pro důležité hospodářské podniky pro doly, hutě a továrny. Spotřebuje se zde velké množství materiálu.

Produkty středního strojírenství jsou obráběcí stroje, lokomotivy, automobily, lodě i motocykly. Tato výroba je většinou umístěna do oblastí spotřeby, protože hodnota práce je přibližná s hodnotou použitého materiálu.

Odvětví lehkého strojírenství je soustředěno na veškeré obory vyrábějící spotřební elektroniku. Vyrábí se například televizory, radiopřijímače a menší elektronika.

Přesné strojírenství představuje výrobu měřicích strojů a speciálních zařízení pro zdravotnické i jiné účely. Zahrnuje obor jemné mechaniky či optiky. Jedná se o nejvyspělejší strojírenský obor. Produkty jsou počítače, hodinky, fotoaparáty, přesná optika a laserové technologie i souřadnicová měřicí technika.³

Souřadnicová technika je oblast, která patří k nejrychleji se rozvíjející oblasti umožňuje rychlou a přesnou kontrolu. Umožňuje rychlou a přesnou kontrolu složitých obrobků. Přispívá k zabezpečení kvality a výroby a tím zvyšuje svou schopnost na trhu.

Jednou s firem, která vlastní souřadnicový měřicí stroj je firma Pramet, která sídlí v Šumperku. Překotný vývoj souřadnicových měřicích strojů (Coordinate Measuring Machine) ve zkratce CMM souvisí se zrychlováním a zpřesňováním výrobního procesu.⁴

³ manualkuspechu. Strojírenství. [online]. 31.3.2015 [cit. 2015-03-31]. Dostupné z: <http://www.manualkuspechu.cz/index.php/strojirenstvi>

⁴ tamtéž

2. Firma Pramet tools s.r.o. :

Téma, které mi bylo určeno, bylo řešeno u šumperské firmy Pramet tools , s.r.o.

Tato firma se zabývá výrobou a prodejem obráběcích nástrojů ze slinutého karbidu. Všechny produkty, co firma Pramet vyrábí, jsou vyráběny v České republice (EU). Prodávají se prostřednictvím sítí a poboček řad smluvních partnerů.⁵

Společnost se v posledních letech zaměřila spíše na rozvíjení obchodních sítí exportu. Pramet má zákazníky ve více než 50 zemích světa. Vlastní zastoupení firmy se nachází v 9 zemích na světě a to včetně zámoří.⁶

Firma Pramet se snažila navázat na dřívější tradici výroby slinutého karbidu, která trvala více než 60 let a to přímo v Šumperku, kde se také nachází výrobní závod i centrála společnosti. Sídli tu také oddělení výzkumu a vývoje či logistiky a marketingu.⁷

Dále firma nabídne širší sortiment produktů z oblasti všeobecného obrábění a specializuje se na segmenty Metalurgie a Železnice, ve kterých dokáže zajistit řadu inovativních řešení. Zákazník má od nás možnost zakoupit nástroje, které jsou vyráběny nejnovější technologií. Společnost se snaží dbát na to, aby její zaměstnanci měli na paměti, že je důležité nadšení zákazníka, rodinný duch a osobní zaujetí.⁸

Firma Pramet si je vědoma, že její průmyslová produkce má určitý dopad na životní prostředí a snaží se tento dopad minimalizovat. V roce 2014 se spojil s výrobcem monolitních nástrojů a to se společností Dormer Tools. Takže dále rozšiřuje své možnosti v nabídce, díky spojení dvou firem nabídne obsáhlejší portfolio jak destičkových tak monolitních nástrojů.⁹

⁵ PRAMET: O společnosti. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>

⁶ tamtéž

⁷ PRAMET: O společnosti. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>

⁸ tamtéž

⁹ tamtéž

2.1 Popis kvalit a kontrol ve výrobě:

Ve strojírenství, ale i všude jinde, je velmi důležitým faktorem kvalita. Kvalita nejen materiálů, ze kterých firma dále vyrábí výrobky, ale kvalita všech částí a postupů výrobku. Aby se firma mohla zaručit za své kvality, potřebuje kvalitní zázemí, nástroje a management, který svými schopnostmi dokáže firmu dále prezentovat a v pozitivním směru posouvat.¹⁰

Firma by měla pravidelně provádět audity, nebo-li kontrolu výrobků a služeb. Z kontroly se dá lehce odvodit, kde problém vznikl a kde jsou vidět nedostatky procesů ve výrobě. Problémům se dá takto předejít a práce může být i efektivněji odvedena.¹¹

Firma by měla za svoji kvalitu ručit. Může si rovněž nechat udělat certifikát a tím potvrdit a ukázat, že své kvality garantuje. Certifikát potvrdí, že firma vzhledem ke všem podmínkám včetně prostředí je na slušné úrovni. Je to dobrý krok k dalšímu zlepšování a zdokonalování všech činností výroby.¹²

¹⁰ KLUSÁK, Lukáš. Statistické zpracování a analýza dat výrobních auditů. Ostrava, 2014. Bakalářská diplomová práce. VŠB-TUO.

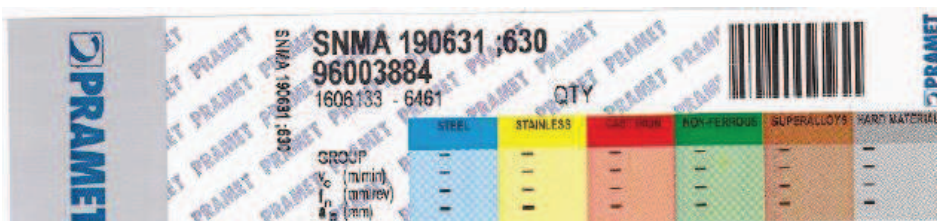
¹¹ KLUSÁK, Lukáš. Statistické zpracování a analýza dat výrobních auditů. Ostrava, 2014. Bakalářská diplomová práce. VŠB-TUO.

¹² tamtéž

2.2 Vyměnitelná břitová destička:



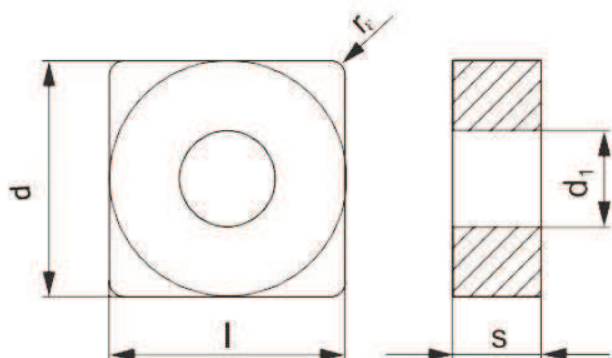
Obrázek 1 – Vyměnitelné břitové destičky



Obrázek 2 - Rozbor nálepky s obalu krabičky VBD

Vysvětlení typu destičky podle ISO kódů	
SNMA 190631	Typ destičky
S	Čtvercový tvar
N	Úhel hřbetu
M	Tolerance rozměru břitové destičky
A	Provedení destičky
630	Materiál destičky
96003884	Číslo výrobku
1606133-6461	Interní kód

Tabulka 1 – Vysvětlení typu destičky podle ISO kódů



Obrázek 3 – Základní rozměry břitové destičky¹³

¹³ PRAMET: O společnosti. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: <http://www.pramet.com/cz/o-spolecnosti.html>

2.3 Souřadnicové měřicí přístroje:

Jsou jednou z nejvýznamnějších inovací v oblasti měření ve strojírenském odvětví. Tato konstrukce je nucenou potřebou u měření v automobilovém či leteckém průmyslu.¹⁴

Princip souřadnicového měření spočívá v tom, že si stanovíme jeden základní bod v prostoru a polohy dalších bodů na součásti, které měříme, odvodíme pomocí souřadnicových rozměrů v ose X,Y,Z. Základní bod si můžeme určit v kterémkoliv pracovním místě měřicího prostoru, a to je velkou výhodou oproti konvenčním metodám.¹⁵

Pokud srovnáme tradiční způsoby, kde odečtení naměřených hodnot z jemných stupnic je zdoluhavé a namáhavé, tak představuje číslcový způsob vyhodnocení výsledku u souřadnicových strojů velký kus vpřed. Navíc je většina číslcových souřadnicových měřicích strojů (SMS) přizpůsobena tak, že k nim je možné připojit další externí zařízení pro zaznamenání naměřených hodnot, a to dokáže automaticky registrovat měřené body. Záznam naměřených hodnot či výsledků slouží jako doklad, že měření bylo provedeno.¹⁶

¹⁴ Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

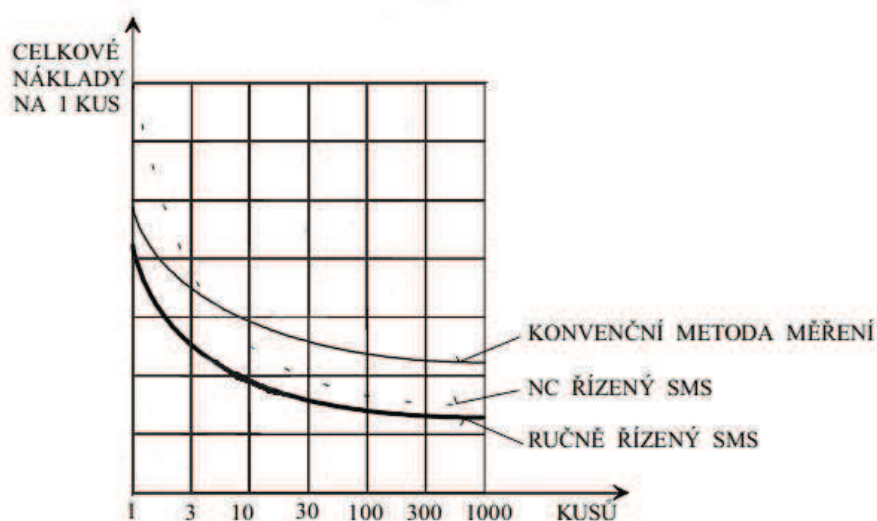
¹⁵ tamtéž

¹⁶ tamtéž

2.4 Kalibrace souřadnicových měřících strojů:

Moderní měřicí technika není schopná plnit úkol primární technologie bez toho, aniž by předtím provedla důkladnou kontrolu vypracovaných měřících postupů. Využívá vyhodnocovací techniku, kvalitní software a samozřejmě kvalitní pracovní kolektiv, který se o přístroje stará a pravidelně provádí kontroly, aby se dokázalo předejít zbytečným chybám. Další vcelku nutnou podmínkou jsou dobře vybavené laboratoře i teplota, tedy klimatizace. Teplota má relativně velký význam, hodně ovlivňuje výsledek měření délek, rozměrů a tvarů.¹⁷

SMS má za úkol kontrolovat výrobky. Umí velmi rychle pracovat, měřicí časy redukuje zhruba o 80%. SMS ve spojení s počítačovou technikou umí účinně zvyšovat a udržovat jakost při obrábění i tváření. SMS se hodí zvláště na rozměrovou kontrolu součástí, které se vyrobily na vrtačkách nebo frézách.¹⁸



Obrázek 4 – uplatnění různých měřících metod

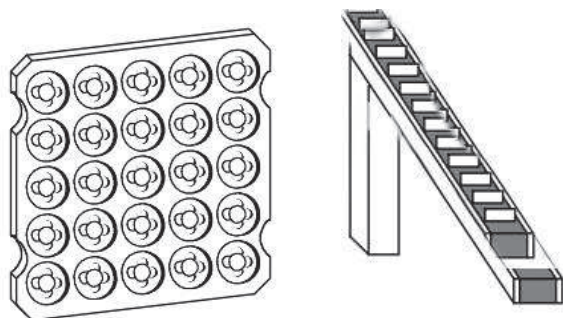
¹⁷ tamtéž

¹⁸ Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

2.5 Zajišťování kalibrace:

Největší německé firmy Bosch, Zeiss, Leitz Vw používají jednotnou metodiku kalibrace PTB v Braunschweigu. Proto se ČMI snažilo navázat na jejich zkušenosti a metodiku převzít.¹⁹

Typy zajišťování:



Obrázek 5 – zajišťování kalibrace

2.6 Multisenzorový souřadnicový přístroj WERTH:

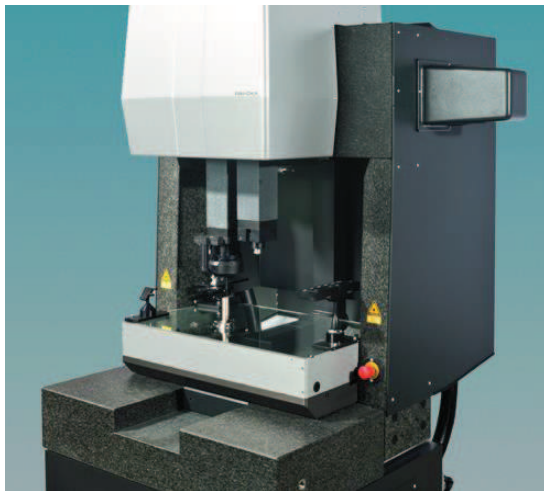
Měřicí rozsah	X= 200mm/ 300mm/400mm; Y=200mm, Z=200mm
Dostupné senzory	Werth video senzor pro zpracování obrazu (IP), Werth Laser senzor, kontaktní spínací sondy
Aplikace	Díly z plastu, konektory a kryty, lisované/ohýbané dílce, tištěné spoje, základny a komponenty náramkových hodinek atd.

Tabulka 2 – Parametry multisenzorového souřadnicového měřicího přístroje

¹⁹ tamtéž



Obrázek 6 - Stroj pro vysoce výkonné měření



Obrázek 7 - Werth VideoCheck se dvěma osami Z

3. Způsoby hodnocení SMS zařízení:

SMS je zařízení, které má svoji průměrnou desku doplněnou o měřicí mechanismus. Tento mechanismus je měřícím prvkem a je dále vybaven měřícím dotekem, který ohmatává kontrolovanou součást. Polohu, ve které se právě nachází, je možné zjistit buď opticky a nebo častějším způsobem, přímo na číslicovém ukazateli.²⁰

²⁰ Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

3.1 Přesnost hodnocení SMS souřadnicových měřících strojů:

Je důležité sledovat přesnost a způsob jednotlivých prvků, tedy, jak stroje pracují. Uživatele zajímá výsledek a samozřejmě dosažená přesnost měření.²¹

Kvůli těmto důvodům se zavedli zkušební metody, které se dělí na:²²

- Metoda Analytická

Musí se zde kontrolovat chyba a polohování v jednotlivých měřících osách. Kontrola vzájemné kolmosti jednotlivých os, dokonce i odchylky rovinnosti pracovního stolu, či chyby snímacích systémů. Základní měřidlo, které se zde využívá je LaserInterFerometr. Dokáže zkontrolovat a rozlišit délky s přesností 0,1 μm, zvládne i odchylky přímosti a kolmosti.²³

- Metoda Komplexní

Touto metodou lze získat veškeré komplexní informace o tom, jakou má celý systém SMS jako celek přesnost. Pro uživatele to znamená zásadní výhodu, a to v jednoduchosti zkoušek. Tyhle metody jsou založeny na použití etalonu a to:²⁴

- Prostorových

Říká se mu také úsečkový etalon. Jedná se o dvě přesné koule, které jsou spojeny pevnou tyčí, z materiálu o minimální roztažnosti. Díky tomu je zachována konstantní délka.²⁵

- Plošných

Kalibrace je prováděna ve dvou horizontálních rovinách a dvou vertikálních.²⁶

- Lineárních

Koncové měrky jednotlivé nebo i jako sestava.²⁷

²¹ tamtéž

²² Základní normy a pojmy Technického měření: ETA Otázky 2011/2012. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: www.google.cz/#q=ETA_VYPRAC_2011

²³ tamtéž

²⁴ tamtéž

²⁵ tamtéž

²⁶ Základní normy a pojmy Technického měření: ETA Otázky 2011/2012. [online]. [cit. 2015-01-17]. Dostupné z: www.google.cz/#q=ETA_VYPRAC_2011

²⁷ tamtéž

3.2 Typy konstrukcí SMS:

Konstrukce měřicího stroje SMS se vyznačuje mechanickým spojením dvou nebo tří pravoúhle uspořádaných přímkových vedení a pracovním způsobem odečítání souřadnic na objektu, který se právě měří za pomoci optického a elektro kontaktního doteku.²⁸

Souřadné osy SMS jsou na sebe navzájem kolmé. Jsou také kolmé rovnoběžně s průměrnou deskou. SMS je více druhů a jsou podle potřeby dále uspořádány do dalších skupin. Aby se dosáhlo co nejlepší přístupnosti do měřících prostorů, používají se dnes tyto typy konstrukčních uspořádání:

- Mostové (mají největší uplatnění, vyniká tuhou konstrukcí a velkou kapacitou měřicího prostoru)
- Pinolové
- Výložníkové (nemá tak velkou kapacitu měřicího prostoru, ale za to má lepší přístup k měřené součásti) Klasicky se používají pro kontrolu obrobků menších či středních rozměrů)²⁹

Je důležitý ohled na hmotnost obrobků proto jsou vyráběny SMS:

- S pevnou deskou v úrovni podlahy.
- S pevným i pohyblivým stolem.³⁰

Kvůli přesnostem a způsobům používání se SMS dále rozdělují:

²⁸ Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

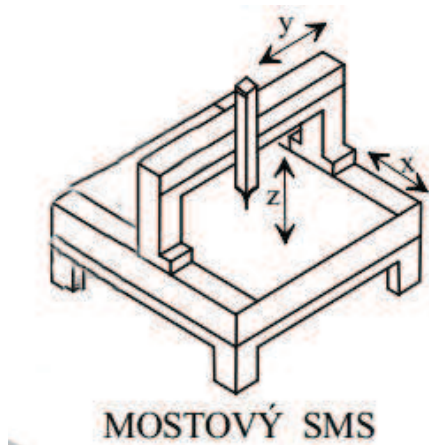
²⁹ tamtéž

³⁰ tamtéž

- Nejpresnější použití SMS - nejčastěji se jedná o laboratoře, kde se dává důraz na maximální přesnost. Musí se zde dodržovat komparační princip. Vyžaduje se zvýšená přesnost odměřování měřících hlav.
- Pro provozní použití – využít většinou pro měření skříňových součástí. Je zde kladena vyšší přesnost než u výroby.
- Proměrování montážních celků- jedná se o součásti umístěné v úrovni podlah.³¹



Obrázek 8 – konzolový (výložníkový) SMS



Obrázek 9 – mostový SMS

³¹ Souřadnicové měřící stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

3.3 Popis konstrukce SMS:

Základem konstrukcí je průměrná deska. Na vodící plochy se kladou velmi vysoké nároky z hlediska dosažení rovinnosti a kolmosti. Minimální úchytky rovinnosti vodících ploch bývá kolem 0,002mm/m, lapováním se dá dosáhnout až 0,005mm/m.

Díky použití kamene se změny u ocelových a litinových konstrukcí v geometrických přesnostech dají vyloučit. Používá se nejčastěji granit a diabas.³²

Měřicí rozsah SMS je prostor, který při měření obsáhne měřicí hlavice a je dán dovolenou hodnotou jednotlivých souřadnic X, Y, Z . Cejchováním a dotýkáním snímací hlavice se měřicí rozsah zmenšuje. Uhlíková vlákna nebo keramika jsou cenově dostupné materiály. Abychom minimalizovali dynamické chyby a zvýšili vlastní frekvenci, používá se zde metoda konečných prvků.³³

Pracovní desku, (používá se granitová deska nebo litinový odlitek) podepírají čtyři základní pevné podpěry. Horní pracovní deska je broušena a jsou v ní otvory se závity. Díky tomu se měřený kus může připevnit. Na konci desky je upevněno seřizovatelné vedení, po kterém pojíždí most.

- Most, (tzv. složená uzavřená konstrukce) jehož stojny tvoří profily ČSN 426936.
- Vozík je deska s kalenými vodícími plochami. Uvnitř desky je závěs pro uložení objímky nebo pinoly či projektoru bříty.
- Pinola, (litinová nebo duralová tyč s profilem H) musí být vyvážena a to pomocí mechanického vyvážení nebo s pomocí dvou souměrných závaží.
- Vedení je důležité proto, aby nedošlo k trhavým pohybům s maximální přesností i při minimálních rychlostech. Aby se části mohli lehce posouvat, je pohyblivá část uložena na vedení s co nejmenším třením a maximální tuhostí celého zařízení.³⁴

³² Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

³³ tamtéž

³⁴ tamtéž

3.4 Kalibrace doteků:

Je možné provádět pomocí KALIBRAČNÍ KOULE nebo krychle. Nejrychlejší způsob, obzvlášť při ručním měření, je pomocí nastavovacího kroužku, který je uložen v dutinoměru. Ještě před tím, než změříme průměr kroužku, musíme zadat nulový poloměr doteku. Takže SMS vyhodnotí souřadnice středu doteku. Ze skutečného a změřeného průměru získáme rozdíl, a tím vypočteme dynamický poloměr doteku.³⁵



Obrázek 10 – kalibrační koule

Běžný kontaktní snímač má trojúhelníkovou charakteristiku necitlivosti. Optimální by bylo snímat při kalibraci doteků 6 orientovaných bodů, souhlasně s trojúhelníkem. Tak, aby byli 3 body na vrcholech a 3 body umístěny uprostřed mezi nimi. Obvykle při ručním měření průměru snímáme 4 body orientované ve směru os stroje.

Stejný způsob je použit při kalibraci doteků. Díky zkouškám, které byly provedeny a porovnány se zjistilo, že ze 4 bodů je přesnost kalibrace naprosto dostačující.³⁶



Obrázek 11 – kalibrační koule mitutoyo

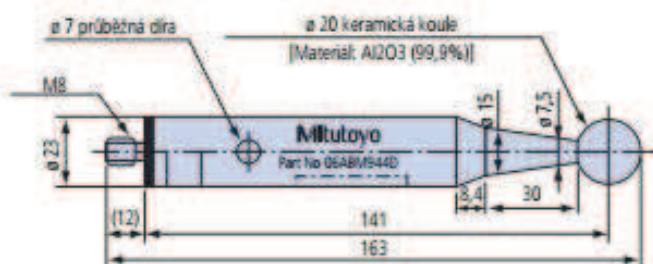
³⁵ Souřadnicové měřicí stroje [online]. 2007[cit. 2015-01-17]. Dostupné z: http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp1_skripta.pdf

³⁶ tamtéž

3.5 Vybrané druhy kalibračních koulí:

Standardní keramická koule 20 mm Obj.č. 06ABM944D

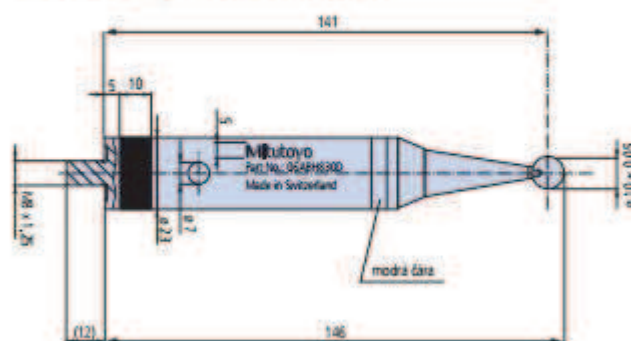
- Kulovitost: $0,13 \mu\text{m}$
- Tolerance měření průměru koule: $20 \pm 0,01 \text{ mm}$



Obrázek 12 – Standardní keramická koule 20mm

Keramická koule 10 mm Obj.č. 06ABH830D

- Kulovitost: $0,08 \mu\text{m}$
- Tolerance měření průměru koule: $10 \pm 0,05 \text{ mm}$

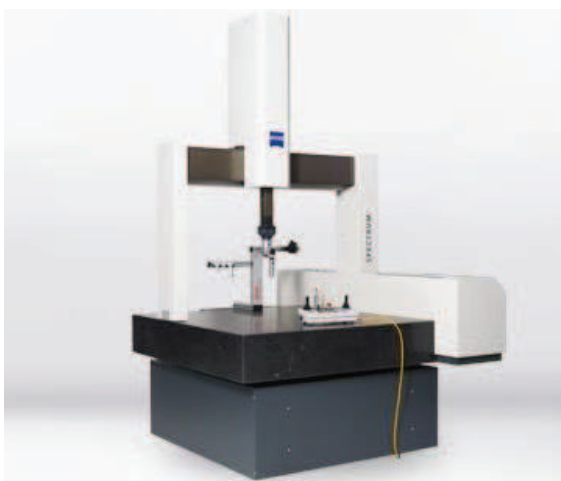


Obrázek 13 – Keramická koule 10mm³⁷

³⁷ Mitutoyo: Prospekty. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://www.mitutoyo.cz/files/prospekty/prc1312.pdf>

4. Měření složitých součástí:

Měření složitých součástí můžeme provést například na souřadnicovém měřicím CMM stroji CarlZeiss. Tento stroj využívá aktivní systém VAST XM, který má za úkol součást precizně poznat, a to i do hloubky a přesně ji změřit. Součást se uchopí a pomocí počítače, který je spojen s měřicí technikou, se těleso podrobí měření. CarlZeiss vyrábí i optiky fotoaparátů a optoelektroniku. Je to špička na trhu pro řešení výzkumných, průmyslových i lékařských řešení.³⁸



Obrázek 14 – Vysoce přesný měřicí přístroj CarlZeiss

4.1 Měření složitých tvarových ploch:

Pro komplexní proměření tvarově složitých ploch na obráběcím stroji, je zapotřebí sestavit komplexní postup pro měření. Je zapotřebí získávat spousty bodů z měření a vystihnout detailně tvar dané součásti, především proto, aby byly proměřeny plochy i tam, kde se může vyskytovat chyba. Program je sestaven tak, že proměří souřadnice bodů, ty automaticky uloží a tím pádem vyhodnotí polohu daného bodu a zjistí tolerance. Obsluha stroje má okamžitou informaci o stavu plochy, takže může součást buď ihned vyřadit, nebo hledat důvody, proč chyba vznikla. Pokud by součást byla nevyhovující, uživatel ji může ihned vyřadit a pracovat s novou.³⁹

³⁸ Carl Zeiss: Přesné měření na CMM Carl Zeiss. [online]. [cit. 2015-01-18]. Dostupné z: <http://technologie.fs.cvut.cz/provide/mereni>

³⁹ MĚŘENÍ SLOŽITÝCH TVAROVÝCH PLOCH OBROBKOVOU SONDOU A VYHODNOCENÍ PŘESNOSTI OBRÁBĚNÍ [online]. Plzeň, 2011[cit. 2015-01-18]. Dostupné z: http://old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST%28SVOC%29/_2011/_sbornik/PapersPdf/Bc/Kozisek_Michal.pdf

5. Werth VideoCheck

Součást byla měřena dotekovou metodou. Měření probíhalo na multi-senzorovém stroji Werth VideoCheck, což znamená, že součást může být zpracovávána buď opticky kamerou, nebo dotekem. Systém, kterým je součást kontrolována, se skládá z optického a laserového snímače. Snímání probíhá nejčastěji dynamickou sondou. Režim provozu je po dráze a využívá software WinWerth. To vše běží na Operačním systému Microsoft Windows.

5.1 Technická data

osa	[mm]	[in]
X	400	16
Y	400	16
Z	200	8

Tabulka 3 – Měřicí vzdálenost (dosah)

[kg]	[lbs]
1100	2425

Tabulka 4 – Hmotnost stroje

E_1	$0,75+L/500$
E_2	$0,95+L/500$
E_3	$1,5+L/500$

L – měřená délka v mm

Tabulka 5 – Maximální přípustná chyba

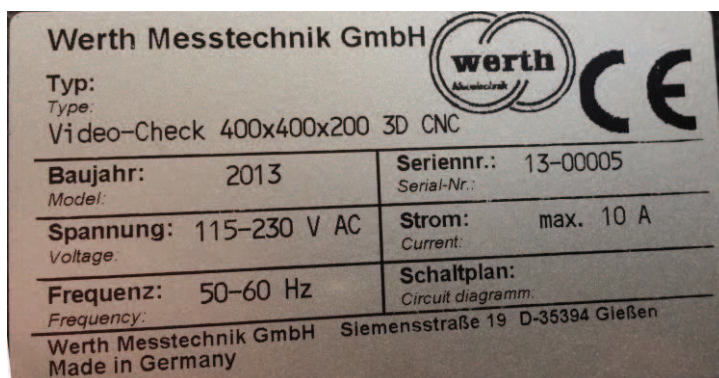
5.2 Dotekové měření

Měření bylo prováděno na multisenzorovém měřicím stroji, který umí měřit s přesností až $0,7\mu\text{m}$. Každoroční kalibrace zajišťuje záruku maximálně přesných výsledků. Stroj byl vyroben v roce 2013 a základní část konstrukce je tvořena granitovým šasi.

Pracovní napětí je v rozsahu 115-230V [AC]. Pracovní granitová deska se pohybuje na vzduchových ložiskách, to znamená, že v pracovním režimu se nedotýká základního rámu.



Obrázek 15 – Měřicí přístroj Werth VideoCheck



Obrázek 16 – Štítek Werth Messtechnik

Konstrukce stroje je zvláštní hlavně díky posuvu po vzduchových polštářích, které minimalizují citlivost vůči vnějším vlivům. Vzduchová ložiska pak zaručují stabilitu a přesnost měření. Jsou mazána vzduchem místo oleje, díky tomu je provoz dlouhodobě stabilní. Je to velká výhoda oproti klasickému posuvu. Zde nevzniká žádné tření, tudíž se materiál neopotřebovává a mnohem déle vydrží. Vyznačují se lehkou údržbou, dynamickou přizpůsobivostí a provozní nenáročností.

Ložiska se vzduchovou vrstvou využívají i v leteckém průmyslu, od roku 1970 jsou v provozu více než 100 000 hodin bez nutnosti údržby.



Obrázek 17 – Zadní pohled pohonné jednotky (vzduchová ložiska)

Další pracovní částí je řídicí jednotka stroje CNS kontroler, který je uložen do ochranné skříně. Celá skříň je pro vyšší bezpečnost uzemněna. Zde je možné připojit úložné zařízení.



Obrázek 18 - Řídicí jednotka CNS

Kabely řízení propojení CNS kontroleru se strojem Werth



Obrázek 19 – Kabely řízení

Hlavní ovládací panel celého zařízení. Pomocí kláves a joysticku se ovládá například osa posuvu, rychlost nebo optická kamera s horním světlem. Kamera se využívá zejména při optické kalibraci.



Obrázek 20 - Hlavní ovládací panel

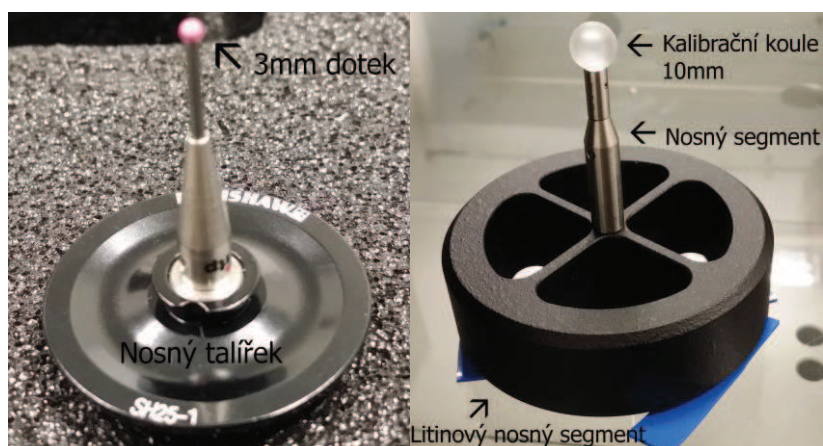
5.3 Nastavení kalibrace

Měření bylo prováděno pomocí soupravy doteků Renishaw a ITP. Kvalita u těchto dvou výrobců je srovnatelná na špičkové úrovni. Na obrázku vidíme soupravu doteků od Firmy Renishaw mezi nimi jsou i doteky od firmy ITP. Každý takovýto dotek je zpracován s nejvyšší přesností, proto se cena doteků pohybuje v řádu tisíců korun.

Renishaw je globální společnost s klíčovými odbornostmi v měření, řízení pohybu, spektroskopii a přesném obrábění. Sídli v Brně. Má akreditovanou laboratoř i servis. Je to světová špička, která se snaží stále zlepšovat efektivitu a kvalitu výroby. Výrobky firmy se používají k automatizaci strojního obrábění a k souřadnicovému měření.



Obrázek 21 – Souprava doteků Renishaw



Obrázek 22 – Kalibrováný Dotek SH25-1 a 10mm Kalibrační koule

5.4 Průběh operace

Pro měření byl vybrán náhodný 3mm kalibrovaný dotek s označením SH25-1.

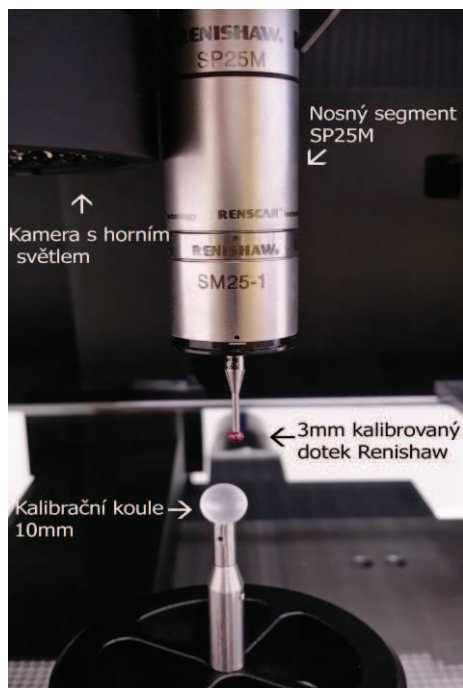
Tento dotek jsme upnuli do nosného prodlouženého segmentu SP25M prodloužený proto, aby byl blíže kalibrační kouli. Tento segment je už ovládán hlavním panelem, který ovládá posuv i kameru s osvětlením. Po upnutí kalibrovaného doteku do segmentu jsme se pomocí joysticku snažili dostat manuálně co nejblíže 10mm kalibrované kouli.

Pomocí kamery s horním světlem jsme na monitoru viděli jak se blížíme k okraji koule.

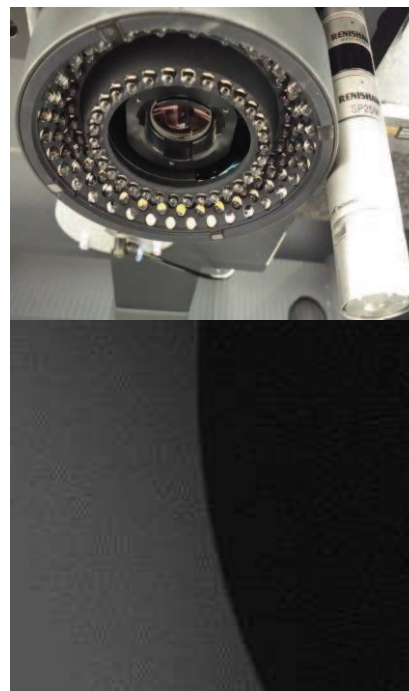
Jakmile jsme se dostali do vzdálenosti asi 2mm od kalibrační koule stroj automaticky začal součást dotekově snímat. Nejprve v ose X po celém obvodu kalibrační 10mm koule.

Postupně měnil osy a obodoval celou kouli s přitlačnou silou 0,1 Newtonu.

Po celou dobu dotekového snímání je zakázáno jakkoliv mechanicky sahat na kalibrovanou součást nebo ji jakkoliv upravovat. Celý průběh operace trval asi 3 minuty je zaznamenán do protokolu. Po ukončení snímání byl vypsán výsledný protokol, kde je uveden kalibrační etalon a co bylo použito jako mod kalibrace.



Obrázek 22 – Průběh kalibrace



Obrázek 23 – Snímek z kamery přiblížení okraje součásti

5.5 Kalibrační protokol


Kalibrační protokol obsahuje číslo stroje, na kterém byla operace prováděna a datum o provedené práci. Kalibračním etalonem je kalibrační koule o průměru 10,0035mm, která byla měřena 9 body. Jako mód kalibrace jsme použili referenční kalibraci neboli metodu porovnávací.

Protokol jelikož je stroj multisenzorový zobrazuje posun mezi kamerou a dotekem musí být zřejmé v jaké vzdálenosti se od sebe kamera a dotyk nacházejí.

Dále odchylky D a FT, které jsou zeleně v protokolu vyznačeny a vyhovují požadavkům.

Scalib - kalibrační protokol scalib 2.15.015 WinWerth 7.32.550

Page 1 of 1

Werth Messtechnik GmbH		
Číslo stroje	13-00005	
Společnost	Pramet	
Datum	2015-02-18 09:23	
Uživatel	I	
Kalibrační etalon	kalibrační koule D = 10.0035 [mm] měřený 9 body	
Mód kalibrace	Referenční kalibrace	

Senzor : *MProbe*

Index	Název	Slot/Modul	D [mm] (aktuální předchozí)		FT [µm] (aktuální předchozí)		Posun [mm] (aktuální předchozí rozdíl)						Rozdílná charakteristická křivka (aktuální-předchozí)
							x	y	z				
1	REF_D31.20	I/I	3.002	---	1.090	---	70.815	---	0.565	---	16.343	---	---

5.6 Optické měření (kamerou)

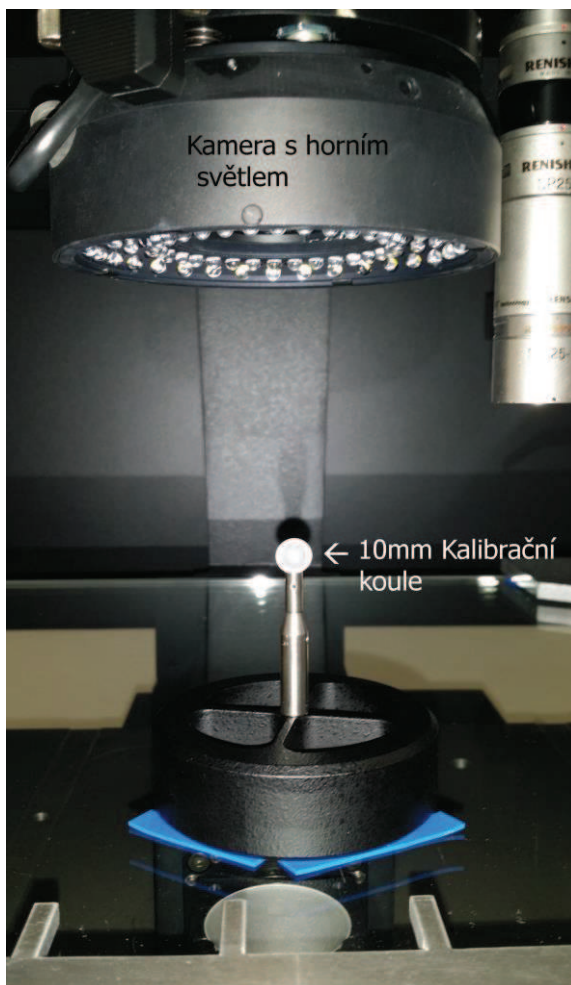
Měření bylo prováděno opět na multisenzorovém měřicím stroji ve stejném programu.

Tentokrát kalibrační kouli snímala jen optická kamera s horním světlem.

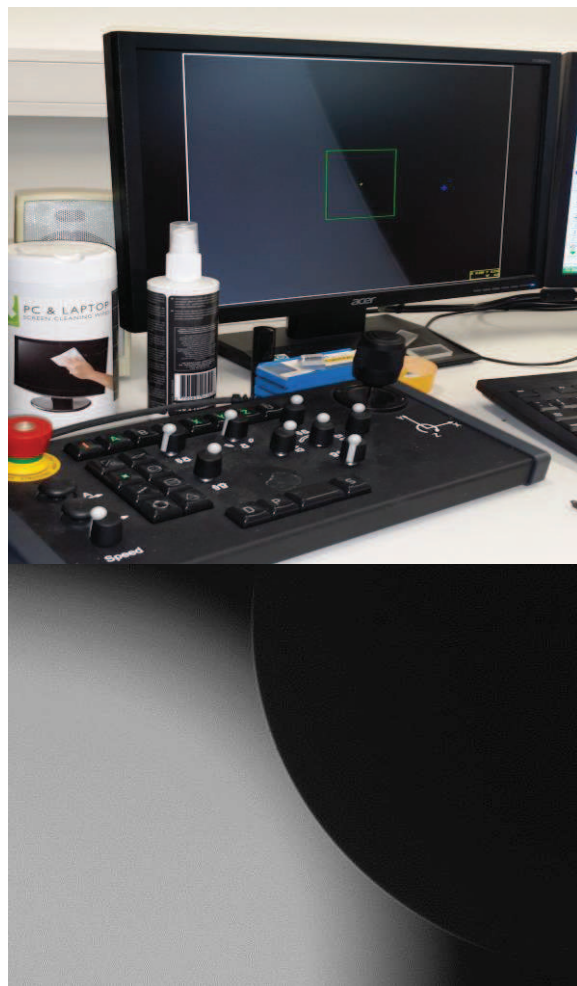
Nejdříve jsme museli měřenou kalibrační kouli manuálně pomocí kamery najít, poté proběhlo měření kružnice u kalibrační koule pomocí kamery. Protože je upnuta do prizmatu není možné oskenovat celou kouli naráz. Následovalo srovnání výšky tedy osy Z, kvůli ostrosti obrazu.

Manuálně jsme kameru navedli na součást a opticky sejmuli 3 body do tvaru trojúhelníku.

Kamera pomocí světla oskenovala kalibrační kouli a změřila ji. Ze 4 bodů změřila kružnici a poté vyhodnotí chybu kruhovitosti, která činí $0,4\mu\text{m}$. Tato metoda vyžadovala mnohem kratší přípravu měření a byla nesrovnatelně rychlejší oproti metodě dotekové. Měření je provedeno z méně bodů, proto je metoda rychlejší, ale naopak méně přesnější, protože vychází z méně sejmutých bodů.



Obrázek 23- Průběh optické kalibrace



Obrázek 24 – Optické zaostření kalibrační koule

5.7 Kalibrační protokol


Kalibrační protokol obsahuje číslo stroje, na kterém byla operace prováděna a datum o provedené práci. Kalibračním etalonem je kalibrační koule o průměru 10,0035mm, která byla měřena 4 body. Jako mód kalibrace jsme použili zkouškovou kalibraci.

Protokol jelikož je stroj multi-senzorový zobrazuje posun mezi kamerou a dotekem musí být zřejmé v jaké vzdálenosti se od sebe kamera a dotyk nacházejí.

Dále zobrazí chybu kruhovitost, která činí 0,424 μ m.

Scalib - kalibrační protokol scalib 2.15.015 WinWerth 7.32.550

Page 1 of 1

Werth Messtechnik GmbH		
Číslo stroje	13-00005	
Společnost	Pramet	
Datum	2015-04-28 12.33	
Uživatel	I	
Kalibrační etalon	kalibrační koule D = 10.0035 [mm] měřený 4 body	
Mód kalibrace	Zkouška	

Senzor : VideoIP

Index	Název	FT [μ m] (aktuální / předchozí)	Posun [mm] (aktuální / předchozí / rozdíl)								
			x			y			z		
<input checked="" type="checkbox"/> 8	07_80mm_5.4x	0.424 ---	0.001	---	---	0.000	---	---	0.038	---	---

6. Diskuze experimentů

Třísouřadnicový měřicí multisenzorový přístroj WERTH, jsme zkontrolovali pomocí kalibrační koule metodou dotekovou a metodou optickou. U dotekové metody byla vybrána kalibrační koule o průměru 10,0035 mm a následně jsme vybrali náhodný dotek od značky Renishaw, který součást automaticky diagonálně obodoval a pomocí 9 měřených bodů vyhodnotil posun v osách X,Y,Z a měřenou odchylku D, která činí 3,002mm a FT 1,009mm obě jsou vyhovující. Na zásadě toho se dá říct, že měření je velmi přesné a stroj WERTH má velice malé měřicí odchylky.

U optického měření, tedy bezdotykovou metodou jsme vybrali opět stejnou kalibrační kouli se stejným průměrem a změřili ji pomocí kamery s horním světlem. Nejdřív bylo potřeba kameru manuálně nasměřovat ke kalibrační kouli a sejmut 3 body do tvaru trojúhelníka. Poté stroj automaticky začal body postupně zaostřovat a snímat po obvodu. Na zásadě sejmutí 4 bodů vyhodnotil chybu kruhovitost součásti, která je 0,424 μ m. Tato metoda má mnohem rychlejší přípravu i dobu samotného měření, ale o to je méně přesná.

7. Závěr :

Pomocí kalibrační koule jsme zkontrolovali multisenzorový třísouřadnicový měřicí stroj WERTH dotekovou a bezdotekovou metodou. U dotekového měření jsme použili kalibrovaný dotyk Renishaw a u optického měření byla použita kamera s horním světlem. Optická metoda byla oproti dotekové kratší na přípravu a samotná operace měření trvala podstatně kratší dobu, ale měření dotekem bylo daleko přesnější a proto doteková metoda je pro přesné vyhodnocení daleko vhodnější.